

**М. П. ОСМАНОВА, Л. В. ЛЯШОК, В. П. ГОМОЗОВ, А. Н. ЖУК**

### **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ОКИСЛИТЕЛЯ ДЛЯ РАСТВОРЕНИЯ СПЛАВА WC – Co В СРЕДЕ ХЛОРИСТОВОДОРОДНОЙ КИСЛОТЫ**

На сегодняшний день потребности промышленности в вольфраме и материалах на его основе в Украине удовлетворяются за счет импорта, поскольку на территории нашего государства отсутствуют природные месторождения этого металла. В то же время, происходит накопление вторичного вольфрамосодержащего сырья (отработанный инструмент, напайки, резцы, сверла и др.), которое является исходным материалом для рециклинга вольфрама. Поэтому, создание технологии для переработки такого сырья является сейчас актуальной задачей. Целью работы является определение основных условий электрохимического растворения псевдосплавов карбидного типа WC – Co в хлористоводородной кислоте с параллельным синтезом окислителя в электролите, для получения конечного продукта в виде высшего оксида вольфрама (WO<sub>3</sub>). Методами линейной вольтамперометрии было исследовано анодное поведение сплава в растворах кислот HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl. Установлено, что процесс растворения сплава WC – Co может происходить во всех указанных электролитах, однако использование хлористоводородной кислоты является более перспективным потому как, она является менее токсичной, чем концентрированная азотная кислота, и обеспечивает более высокие показатели процесса, в отличие от серной кислоты. Доказано, что растворение сырья в хлористоводородной кислоте существенно зависит от ее концентрации и наиболее оптимальной является концентрация 3 – 4 моль·дм<sup>-3</sup>. Обоснована необходимость введения окислителя в объем электролита и рассмотрена возможность синтеза кислородсодержащих соединений хлора. Выявлено, что сильными окислителями являются хлорная, хлорноватая и хлорноватистая кислоты, синтез которых можно наладить при прямой переработке исходного сырья в хлористоводородной кислоте. Установлено, что в диапазоне pH от 3 до 4 В и при потенциалах от 0,2 до 2,2 В существуют условия для одновременного растворения псевдосплава с образованием WO<sub>3</sub> и генерации кислородсодержащих соединений хлора.

**Ключевые слова:** электрохимическое растворение, анодное поведение, псевдосплав, вторичное сырье, электролит, окислитель, синтез

**М. П. ОСМАНОВА, Л. В. ЛЯШОК, В. П. ГОМОЗОВ, О. М. ЖУК**

### **ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ ОКИСЛЮВАЧА ДЛЯ РОЗЧИНЕННЯ СПЛАВА WC – Co У СЕРЕДОВИЩІ ХЛОРИДНОЇ КИСЛОТИ**

На сьогоднішній день потреби промисловості у вольфрамі та матеріалах на його основі в Україні задовольняються за рахунок імпорту, оскільки на території нашої держави відсутні природні родовища цього металу. У той же час, відбувається накопичення вторинної вольфрамвмісної сировини (відпрацьований інструмент, напайки, різці, свердла та ін.), яка є вихідним матеріалом для рециклінгу вольфраму. Тому створення технології для переробки такої сировини є зараз актуальним завданням. Метою роботи є визначення основних умов електрохімічного розчинення псевдосплавів карбидного типу WC – Co у хлоридній кислоті з паралельним синтезом окислювача в електроліті та отримання кінцевого продукту у вигляді вищого оксиду вольфраму (WO<sub>3</sub>). Методами лінійної вольтамперометрії було досліджено анодну поведінку сплаву в розчинах кислот HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl. Встановлено, що процес розчинення сплаву WC – Co може відбуватися у всіх зазначених електролітах, проте використання хлоридної кислоти є більш перспективним, адже вона є менш токсичною, ніж концентрована нітратна кислота і забезпечує більш високі показники процесу, на відміну від сульфатної кислоти. Доведено, що розчинення сировини у хлоридній кислоті істотно залежить від її концентрації і найбільш оптимальною є концентрація 3 – 4 моль·дм<sup>-3</sup>. Обґрунтовано необхідність введення окислювача в об'єм електроліту і розглянута можливість синтезу кисневмісних сполук хлору. Виявлено, що сильними окислювачами є хлорна, хлорнувата і хлорнуватиста кислоти, синтез яких можна налагодити при прямій переробці вихідної сировини у хлоридній кислоті. Встановлено, що в діапазоні pH від 3 до 4 і при потенціалах від 0,2 до 2,2 В існують умови для одночасного розчинення псевдосплаву з утворенням WO<sub>3</sub> і генерацією кисневмісних сполук хлору.

**Ключові слова:** електрохімічне розчинення, анодна поведінка, псевдосплав, вторинна сировина, електроліт, окислювач, синтез.

**M. P. OSMANOVA, L. V. LYASHOK, V.P. GOMOZOV, A.N. ZHUK**

### **ELECTROCHEMICAL SYNTHESIS OF THE OXIDIZER FOR THE DISSOLUTION OF WC – Co ALLOYS IN THE HYDROCHLORIC ACID**

Today, the needs of industry in tungsten and materials based on it in Ukraine are met by imports, since there are no natural deposits of this metal in our state. At the same time, there is an accumulation of secondary tungsten-containing raw materials (used tools, solders, cutters, drills, etc.), which is the starting material for tungsten recycling. Therefore, the creation of technology for the processing of such raw materials is now an urgent task. The aim of the work is to determine the basic conditions for the electrochemical dissolution of carbide-type WC-Co pseudo-alloys in hydrochloric acid with parallel synthesis of an oxidant in an electrolyte, to obtain the final product in the form of higher tungsten oxide (WO<sub>3</sub>). The methods of linear voltammetry were used to investigate the anodic behavior of the alloy in acid solutions HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl. It is established that the process of dissolution of the WC-Co alloy can occur in all of these electrolytes, however, the use of hydrochloric acid is more promising because it is less toxic than concentrated nitric acid, and provides a higher process performance, in contrast to sulfuric acid. It is proved that the dissolution of raw materials in hydrochloric acid essentially depends on its concentration and the most optimal is the concentration 3 – 4 mol · dm<sup>-3</sup>. The necessity of introducing an oxidizing agent into the electrolyte volume has been substantiated and the possibility of the synthesis of oxygen-containing chlorine compounds has been considered. Revealed that strong oxidizing agents are chloric, chloric and hypochlorous acids, the synthesis of which can be adjusted without mediating the processing of raw materials in hydrochloric acid. It has been established that in the pH range from 3 to 4 and at potentials from 0.2 to 2.2 V, there are conditions for the simultaneous dissolution of the pseudo-alloy with the formation of WO<sub>3</sub> and the generation of oxygen-containing chlorine compounds.

**Keywords:** electrochemical dissolution, anodic behavior, pseudo-alloy, secondary raw materials, electrolyte, oxidizer, synthesis.

**Введение.** Вольфрам и материалы на его основе широко применяется для изготовления режущего инструмента. Особо распространены псевдосплавы карбида вольфрама с металлами подгруппы железа (Fe, Ni, Co), для изготовления твердорежущего инстру-

мента (резцов, напайек, свёрл и др.) [1, 2]. Таким образом, при изготовлении, а так же в процессе эксплуатации образуются и накапливаются отходы, содержащие вольфрам. Так как на территории Украины отсутствуют природные источники сырья этого ме-

© М. П. Османова, Л. В. Ляшок, В. П. Гомозов, А. Н. Жук, 2018

талла, и промышленность закупает его у других стран, целесообразно вести передел вторичного вольфрамсодержащего сырья. Рециклинг вольфрама позволит решить проблему накопления отходов, а также снизить экономическую нагрузку на производство, так как известно, что цены на вольфрамовые концентраты и вольфрамовые материалы продолжают расти с конца 2015 – начала 2016 года [3].

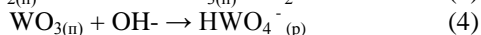
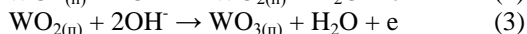
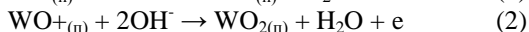
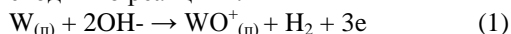
#### Существующие методы решения проблемы.

Передел вторичного сырья можно вести как химическими, так и электрохимическими методами, однако последние являются более перспективными, так как, позволяют значительно повысить производительность процесса и обеспечить чистоту конечного продукта. В связи с этим, в данной работе рассматриваются особенности электрохимического процесса передела вторичного вольфрамсодержащего сырья карбидного типа.

Основным этапом при переработке вторичного сырья является его растворение. Сплавы на основе вольфрама растворяются в щелочных, кислых и органических электролитах [4]. Известно, что поведение вольфрама очень зависит от pH среды и при значениях  $\text{pH} \geq 7$  вольфрам переходит в раствор в виде  $\text{Na}_2\text{WO}_4$ , а при  $\text{pH} \leq 7$  – в виде нерастворимых соединений  $\text{WC}$ ,  $\text{WO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{WO}_4$  [5]. Поэтому при выборе электролита следует учитывать требования к конечному продукту.

#### Анализ основных достижений и литературы.

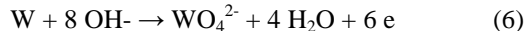
В [6] указано, что растворение вольфрама в щелочной среде происходит по реакциям:



где (п) – продукт или реагент на поверхности; (р) – продукт или реагент в растворе.

Лимитирующей стадией в этом случае является реакция (3).

Применение электролитов с высокими значениями pH ( $\text{pH} \geq 12$ ) создает условия, при которых оксидная пленка растворяется [7, 8] и процесс растворения вольфрама описывается следующей суммарной реакцией:



Однако щелочной метод предполагает перевод вольфрама раствор и соответственно необходимо предусмотреть ряд операций по выделению металлического вольфрама либо его оксидов, что значительно осложняет производственный цикл. К тому же возникают определенные сложности при разделении компонентов раствора (в случае передела сплавов). Применение кислых электролитов дает возможность получать нерастворимые соединения вольфрама без дополнительных операций [9]. Известно применение в качестве электролита 10 % азотной кислоты [10], предложенный способ дает возможность получения  $\text{WO}_3$  в одну стадию, однако предполагает работу с агрессивной средой. Предлагается вести растворение сплавов вольфрама в сульфатной кислоте [11]. Данная

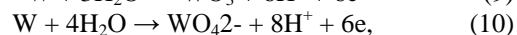
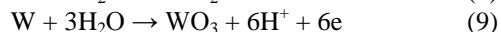
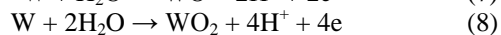
технология также позволяет получить высший оксид вольфрама, однако эффективность растворения псевдосплавов на основе вольфрама в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  значительно меньше, чем  $\text{HNO}_3$ , так как вольфрам стойкий в этой среде (табл. 1) [12].

Таблица 1 – Влияние кислот на скорость коррозии металлов,  $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$

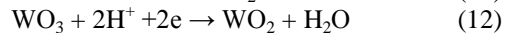
Метал	48 % $\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{H}_3\text{PO}_4$ конц.	$\text{HCl}$ конц.	$\text{HNO}_3$ конц.	3об. $\text{HCl}$ + $1\text{HNO}_3$
W	0,3	0	6,75	4,5	18,0
Ni	0	0	9,45	424,5	100,5
Fe	37,5	1,2	152,3	60,4	137,6
Cu	12,2	0,21	372,4	520,3	564,6
ВНЖ-3-2	0,35	0,08	7,23	6,14	21,4
ВНЖ-95	0,42	0,16	7,02	8,31	19,25

Из таблицы 1 видно, что скорость коррозии вольфрама в хлористоводородной кислоте составляет  $6,75 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ , то есть целесообразно изучить анодное поведение вольфрама и его сплавов в данной среде. Проводились исследования по растворению вольфрама в хлористоводородной среде при поляризации промышленным током.

В анодном полупериоде переменного тока, могут протекать реакции образования разно валентных оксидов и вольфрамат – ионов [6]:



В катодном же полупериоде могут иметь место следующие реакции [6]:



Согласно исследованиям [12] вольфрам практически не растворяется в хлористоводородной кислоте при поляризации постоянным током из-за образования на поверхности электродов пленки, состоящей из оксидов вольфрама. Применение промышленного тока обеспечивает частичное восстановление образовавшихся оксидов в катодном полупериоде. Таким образом, происходит растворение вольфрамовых электродов в хлористоводородной среде.

**Цель работы.** Целью данной работы является определение основных условий электрохимического растворения псевдосплава вольфрама карбидного типа  $\text{WC} - \text{Co}$  в хлористоводородной кислоте с параллельной генерацией окислителя в электролите, и получение в качестве конечного продукта высшего оксида вольфрама ( $\text{WO}_3$ ) в одну стадию.

**Методы исследования.** Для изучения анодного поведения сплава  $\text{WC} - \text{Co}$  в растворах кислот  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  использовали метод вольтамперометрии. Поляризационные исследования проводили на потенциостате Р-45Х. В качестве анода использовали сплав  $\text{WC} - \text{Co}$ , катода – титановую пластинку. Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод. Значение потенциалов приведено отно-

сительно нормального водородного электрода. Для приготовления электролитов использовали реактивы марок «х.ч» и «ч.д.а».

**Результаты исследования.** Поляризационные зависимости растворения сплава WC – Co в кислотах представлены на рисунке 1.

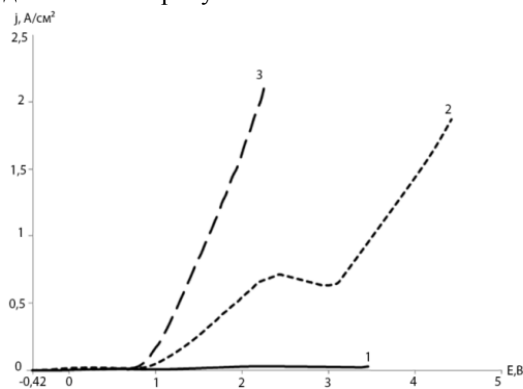


Рис. 1 – Поляризационные зависимости растворения сплава WC – Co в растворах, моль·дм<sup>-3</sup>:  
1 – 7 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 2 – 5 HCl; 3 – 11 HNO<sub>3</sub> + 2 HF.

Видно, что поведение сплава WC – Co соответствует поведению металлического вольфрама в этих средах, то есть наибольшая скорость растворения сплава наблюдается в смеси кислот HNO<sub>3</sub> и HF (кр. 3), а наименьшая в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (кр. 1).

Растворение в электролите, на основе азотной кислоты происходит с максимально высокой скоростью, за счет воздействия на сплав кислоты, с сильными окислительными свойствами, добавка – HF, в свою очередь, выступает комплексообразователем и лигандом. Но реализация данного процесса значительно осложняется тем, что предполагает работу с агрессивными средами, а, следовательно, необходимо предусматривать дополнительные методы по защите, как оборудования, так и рабочих.

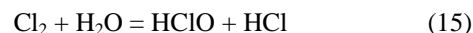
Поскольку процесс растворения в сульфатной кислоте практически не наблюдается, для дальнейших исследований был выбран раствор хлористоводородной кислоты. Поляризационная зависимость в указанном электролите (кр. 2) демонстрирует несколько участков: первый – в диапазоне потенциалов от 0,8 до 2,2 В – соответствует активному растворению карбида вольфрама, металла – связки (кобальт) и образованию оксидов, при достижении предельной плотности тока (2,2 В) происходит пассивация электрода полупроводящим оксидом вольфрама, после 3 В происходит перепассивация поверхности электрода с выделением газообразных продуктов. Таким образом, растворение псевдосплава вольфрама карбидного типа WC – Co происходит согласно твердофазному полиповерхностному механизму.

В процессе растворения образуется высший оксид вольфрама – WO<sub>3</sub>, порошок, который имеет характерный желтый окрас. Но, в связи с тем, что в данной технологии применяется электролит с невысокими концентрациями, наблюдается не полное протекание процесса окисления вольфрама.

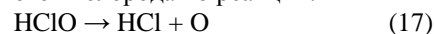
В связи с этим, был произведен поиск вариантов устранения этого недостатка, путем введения в рабочий раствор окислителя. Поскольку известно, что кислородные соединения хлора являются сильными окислителями, было более детально рассмотрено поведение хлористоводородной кислоты при анодном процессе. Получается, что образованный, в результате анодного растворения сплава WC – Co, газообразный хлор (Cl<sub>2</sub>) можно использовать для синтеза действенного окислителя, что позволит снизить потери целевого продукта и интенсифицировать растворение в целом.

При анализе диаграмм состояний для вольфрама и хлора было установлено, что существуют условия, в которых одновременно образуются высший оксид вольфрама (WO<sub>3</sub>) и оксидные соединения хлора (HClO, HClO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub>), являющиеся сильными окислителями.

Хлорноватистая кислота – слабая одноосновная кислота, со степенью окисления хлора +1 и существует она лишь в растворах. Образуется при диспропорционировании хлора или оксида хлора (II) в воде по реакциям:



Общая область существования WO<sub>3</sub> и HClO находится в диапазоне pH от 3 до 4 и потенциале от 0,2 до 2,2 В. Данная кислота проявляет сильные окислительные свойства, так как, склонна к распаду с образованием свободного кислорода по реакции:



Получается, что образованный, в результате анодного растворения сплава WC – Co, газообразный хлор (Cl<sub>2</sub>) можно использовать для синтеза действенного окислителя, что позволит снизить потери целевого продукта и интенсифицировать растворение в целом.

Для того чтоб подтвердить эффективность рассмотренных окислителей были сняты анодные поляризационные зависимости растворения псевдосплава WC – Co в хлористоводородной кислоте при разной концентрации и с добавлением окислителя HClO.

Из рисунка 2 видно, что при повышении концентрации хлористоводородной кислоты с 1 до 4 моль·дм<sup>-3</sup> скорость процесса возрастает, дальнейшее увеличение не оказывает такого эффекта, что согласуется с рассмотренными выше данными. Введение в раствор окислителя заметно увеличивает скорость анодного растворения (кр. 2).

При реализации процесса синтеза оксидных соединений хлора, в рассматриваемой технологии, необходимо учитывать влияние природы материала электрода и состояние его поверхности, электродную и объемную плотность тока, состав электролита, температуру раствора и условия проведения процесса.

Выбирая материал электрода, важно учитывать, что для трудно протекающих процессов требуются электроды с высоким перенапряжением газов, только в этом случае основная доля электричества будет расходоваться на проведение полезного процесса.

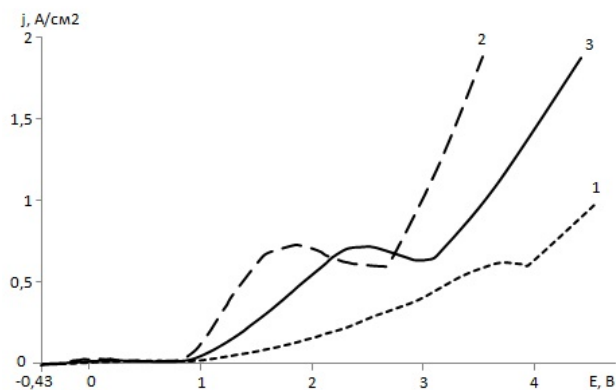


Рисунок 2 – Поляризационная зависимость растворения сплава WC – Co в растворах HCl разной концентрации, моль·дм<sup>-3</sup>: 1 – 1 HCl; 2 – 4 HCl + 2 HClO; 3 – 4 HCl

Наиболее пригодным материалом является платина, альтернативой может быть титан, покрытый оксидом рутения (ОРТА). Большое влияние на ход электрохимического синтеза оказывает состояние поверхности электрода. Целесообразно применять анод с развитой поверхностью, в силу того, что для проведения процесса требуется большая концентрация атомарного газа, взаимодействующего с реагентом.

Существенное влияние на процессы электросинтеза оказывает объемная плотность тока, которая представляет собой отношение силы тока, проходящей через электролизер, к объему электролита. Понижение температуры увеличивает выход по току для хлорной кислоты, так как при этом повышается перенапряжение выделения кислорода, а также увеличивает значение оптимальной концентрации HCl в электролите.

Важным также является обеспечение перемешивания раствора, поскольку это необходимо для снятия образующегося оксидного слоя, а также для повышения концентрации ионов вещества в приэлектродном слое.

**Выводы.** Анодное растворение псевдосплавов карбидного типа WC – Co в растворе хлористоводородной кислоты с добавкой окислителя более эффективно в сравнении с растворами сульфатной кислоты. Повышение концентрации хлористоводородной кислоты с 1 до 4 моль·дм<sup>-3</sup> увеличивает скорость растворения в 4...5 раз. Наибольшая скорость растворения WC – Co достигнута в электролите следующего состава – 4 моль·дм<sup>-3</sup> HCl и 2 моль·дм<sup>-3</sup> HClO.

#### Список литературы

1. Колобов Г. А. Переработка отходов вольфрам- и молибденосодержащих сталей и сложнотермостойких сплавов. / Г. А. Колобов, С. А. Воденников, В. В. Павлов «и др.». Металлургия. Выпуск 1 (35). 2016. С. 19 – 23.
2. Ishida Tomoyuki. Development of technologies for recycling cemented carbide scrap and reducing tungsten use in cemented carbide tools. / Tomoyuki Ishida, Takeshi Itakura, Hideki Moriguchi, Akihiko Ikegaya. SEI Technical review. 2012. №75. P. 38 – 45.
3. Shedd K. B. TUNGSTEN [Электронный ресурс]. Kim B. Shedd. Mineral Commodity Summaries. 2018. Режим доступа до ресурсу: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/mcs-2018-tungs.pdf>.

4. Katiyar P. K. Anodic dissolution behavior of tungsten carbide scraps in ammoniacal media. / P. K. Katiyar, N. C. Randhava, J. Hait «et al.». Advanced materials research. 2014. V.828. P. 11 – 20.
5. Османова М. П. Дослідження процесу окиснення псевдосплавів вольфраму карбидного типу у водних розчинах. / М. П. Османова, Г. Г. Тульський, Л. В. Ляшок, А. Е. Соболева, А. М. Жук. Тези доповідей XXVI міжнародної науково – практичної конференції MicroCAD – 2018 інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. 2018. Ч. II. С. 278.
6. Івашків В. Р. Теоретичні основи і технологічні засади електрохімічного перероблення псевдосплаву WC-Ni. : дис. канд. тех. наук.: спец. 05.17.03 – Технічна електрохімія. Харків. 2016. С. 142.
7. Gui Zhong Zhou. Recycling of waste hard alloy via electrochemical dissolution method. / Gui Zhong Zhou, Zhao Feng Wang, Xuan Wang Shao, Xiang Li. Advanced materials research. 2013. V. 610 – 613. P. 2263 – 2267.
8. Байрачный Б. И. Очистка и переработка отходов. / Б. И. Байрачный, Л. В. Ляшок, И. А. Токарева, Е. В. Семкина, А. Г. Тегина. Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2012. №1. С. 43 – 46.
9. Weidman M. C. Electrochemical Stability of Tungsten and Tungsten Monocarbide (WC) Over Wide pH and Potential Ranges. / M. C. Weidman, D. V. Esposito, I. J. Hsu, J. G. Chen. Journal of The Electrochemical Society. 2010. 157(12): P. F179 – F188.
10. Зайченко В. Н. Извлечение вольфрама и кобальта из отходов твердых сплавов электрохимическим способом. / В. Н. Зайченко, С. С. Фоманюк, Ю. С. Краснов, Г. Я. Колбасов. Журнал Хроматографічного товариства. т. XIII. №1 – 4. 2013. С. 44 – 48.
11. Кунтий О. І. Електрохімічне перероблення сплаву WC – Ni у розчинах H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. / О. І. Кунтий, В. Т. Яворський, В. Р. Івашків «та ін.». Вопросы химии и химической технологии. № 5. 2005. С. 169 – 172.
12. Паршутин В. В. Коррозионное и электрохимическое поведение псевдосплавов на основе вольфрама и их компонентов. Электронная обработка материалов. 2008. №6. С. 27 – 45.

#### Reference (transliterated)

1. Kolobov G. A. Pererabotka othodov vol'fram- i molibdensoderzhashchih stalej i slozhnotermostoykikh splyavov [Recycling of tungsten and molybdenum-containing steels and complex alloyed alloys]. / G. A. Kolobov, S. A. Vodennikov, V. V. Pavlov «i dr.». Metallurgiya. Vy'pusk 1 (35). 2016. S. 19 – 23.
2. Ishida Tomoyuki. Development of technologies for recycling cemented carbide scrap and reducing tungsten use in cemented carbide tools. / Tomoyuki Ishida, Takeshi Itakura, Hideki Moriguchi, Akihiko Ikegaya. SEI Technical review. 2012. №75. P. 38 – 45.
3. Shedd K. B. TUNGSTEN [Електронний ресурс] / Kim B. Shedd // Mineral Commodity Summaries. 2018. Режим доступу до ресурсу: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/tungsten/mcs-2018-tungs.pdf>.
4. Katiyar P. K. Anodic dissolution behavior of tungsten carbide scraps in ammoniacal media. / P. K. Katiyar, N. C. Randhava, J. Hait «et al.». Advanced materials research. 2014. V.828. P. 11 – 20.
5. Osmanova M. P. Doslidzhennya procesu oky'snennya psevdosplyaviv vol'framu karbidnogo ty'pu u vodny'x rozchy'nax. [Investigation of oxidation process of carbide tungsten pseudoalloys in aqueous solutions.] / M. P. Osmanova, G. G. Tul's'ky'j, L. V. Lyashok, A. E. Soboleva, A. M. Zhuk. Tezy' dopovidej MicroCAD – 2018 informacijni tehnologiyi: nauka, texnika, texnologiya, osvita, zdorov'ya. 2018. Ch. II. S. 278.
6. Ivashkiv V. R. Teorety'chni osnovy' i texnologichni zasady' elektroximichnogo pereroblennya psevdosplyavu WC-Ni. [Theoretical bases and technological principles of electrochemical processing of pseudosulfite WC-Ni.]: dy's. kand. tex. nauk.: specz. 05.17.03 – Texnichna elektroximiya. Xarkiv. 2016. S. 142.
7. Gui Zhong Zhou. Recycling of waste hard alloy via electrochemical dissolution method. / Gui Zhong Zhou, Zhao Feng Wang,

- Xuan Wang Shao, Xiang Li. Advanced materials research. 2013. V. 610 – 613. P. 2263 – 2267.
8. Bajrachnyj B. I. Ochistka i pererabotka othodov. [Purification and Recycling] / B. I. Bajrachnyj, L. V. Lyashok, I. A. Tokareva, E. V. Semkina, A. G. Tegina. EHnergotekhnologii i resursobezpechenie. 2012. №1. S. 43 – 46.
  9. Weidman M. C. Electrochemical Stability of Tungsten and Tungsten Monocarbide (WC) Over Wide pH and Potential Ranges. / M. C. Weidman, D. V. Esposito, I. J. Hsu, J. G. Chen. Journal of The Electrochemical Society. 2010. 157(12): P. F179 – F188.
  10. Zajchenko V. N. Izvlechenie vol'frama i kobal'ta iz othodov tverdyyh splavov ehlektrohimicheskim sposobom. [Extraction of tungsten and cobalt from waste solid alloys by electrochemical method] / V. N. Zajchenko, S. S. Fomanyuk, YU. S. Krasnov, G. YA. Kolbasov. Zhurnal Hromatografichnogo tovaristva. t. VIII. №1 – 4. 2013. S. 44 – 48.
  11. Kunt'y`j O. I. Elektrohimichne pereroblennya splavu WC – Ni u rozchynax H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. [Electrochemical processing of alloy WC – Ni in the solution H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] / O. I. Kunt'y`j, V. T. Yavors'ky`j, V. R. Ivashkiv «ta in.». Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii. № 5. 2005. S. 169 – 172.
  12. Parshutin V. V. Korrozionnoe i ehlektrohimicheskoe povedenie psevdosplavov na osnove vol'frama i ih komponentov. [Corrosion and electrochemical behavior of pseudo-alloys based on tungsten and its components] Ehlektronnaya obrabotka materialov. 2008. №6. S. 27 – 45.

Поступила (received) 22.10.2018

#### **Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors**

**Османова Марина Павлівна (Османова Марина Павловна, Osmanova Maryna Pavlivna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORC ID: <https://orcid.org/0000-0002-7127-7168>; e-mail: [osmnovamaki@gmail.com](mailto:osmnovamaki@gmail.com)

**Ляшок Лариса Василівна (Ляшок Лариса Васильевна, Lyashok Larisa Vasil'evna)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри Технічна електрохімія; м. Харків, Україна; ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-7943-647X> [ljashoklv@rambler.ru](mailto:ljashoklv@rambler.ru)

**Гомозов Валерій Павлович (Гомозов Валерий Павлович, Gomofov Valerij Pavlovich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Технічна електрохімія; м. Харків, Україна; ORCID ID <https://orcid.org/0000-0003-2014-0919>; e-mail: [vp.gomozov@gmail.com](mailto:vp.gomozov@gmail.com).

**Жук Олександр Миколайович (Жук Александр Николаевич, Zhuk Aleksandr Nikolaevich)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістрант; e-mail: [animan10000@gmail.com](mailto:animan10000@gmail.com)